人と機械が共存する環境での本質安全

石田　豊[*1, *2]　アルフレッド ノイドルファ[*2]　蓬原 弘一[*2]　藤田 俊弘[*1]

Importance of Inherent Safety in Human Machine Interface Environment

Yutaka Ishida[*1, *2]　Alfred Neudorfer[*2]　Koichi Futsuhara[*2]　Toshihiro Fujita[*1]

Abstract - In HMI (Human Machine Interface) environment where operators control various machines on the factory floor, there always exist risk for the operators to encounter dangerous situations. In order to avoid such risks, International Safety Standards such as IEC/ISO clearly state that inherent safety design is of prime importance. Especially at times when operators need to be interacting with machine operations such as setting up, teaching, process changeover, failure treatment, repairing and maintenance, ergonomic consideration should be fully implemented. This paper describes the importance of inherent safety by the study of actual operational flow of machines.

Keywords: Inherent safety, Risk assessment, HMI, Enabling device, ISO12100, ISO14121

1.　はじめに

近年，FA (Factory Automation) 等の産業分野では，従来のように機械の生産性向上や効率化を図るだけでなく，安全性へ配慮することが人と機械が共存する HMI (Human Machine Interface) 環境における重要な要件となっている。特に経済のグローバル化にともない，機械安全の考え方を ISO 12100「機械類の安全設計のための一般原則」に代表される国際安全規格に整合させることが必須条件になってきている。[1-5] わが国においても，厚生労働省から 2001 年 6 月に発行された「機械の包括的な安全基準に関する指針」(以下，指針)において ISO 12100 の安全に対する思想が取り入れられ，機械の製造者だけでなく，その使用者や事業者が実施すべき事項も明記されている。[6, 7]

ISO12100 や指針に規定された安全対策の基本的考え方は，「機械は故障し，作業者はミスを犯す」ことをまず認め，たとえヒューマンエラーが起きても作業者に危害をおよぼさない本質安全を設計段階で構築しておくことである。特に HMI 環境では，人の安全性を向上させるために人間工学に配慮した制御装置を使用し，本質安全を構築する必要のあることが認識されてきている。[8-19]

今回は，機械運転のフローに着目し，そのなかで事故の可能性の高い非定常作業時にいかにリスクを低減すべきかを考察し，機械の本質安全を構築する考え方について述べる。
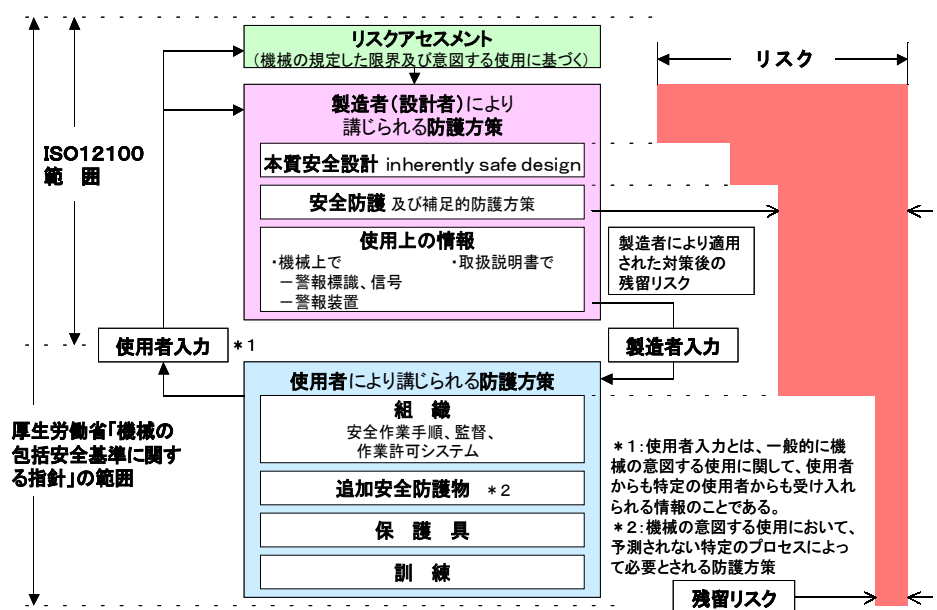
図 1　機械類の設計者，製造者の責任範囲

Fig.1　Scope of responsibility for designer and manufacturer of machinery

*1: 和泉電気株式会社
*2: 長岡技術科学大学
*1: IDEC IZUMI Corporation
*2: Nagaoka University of Technology
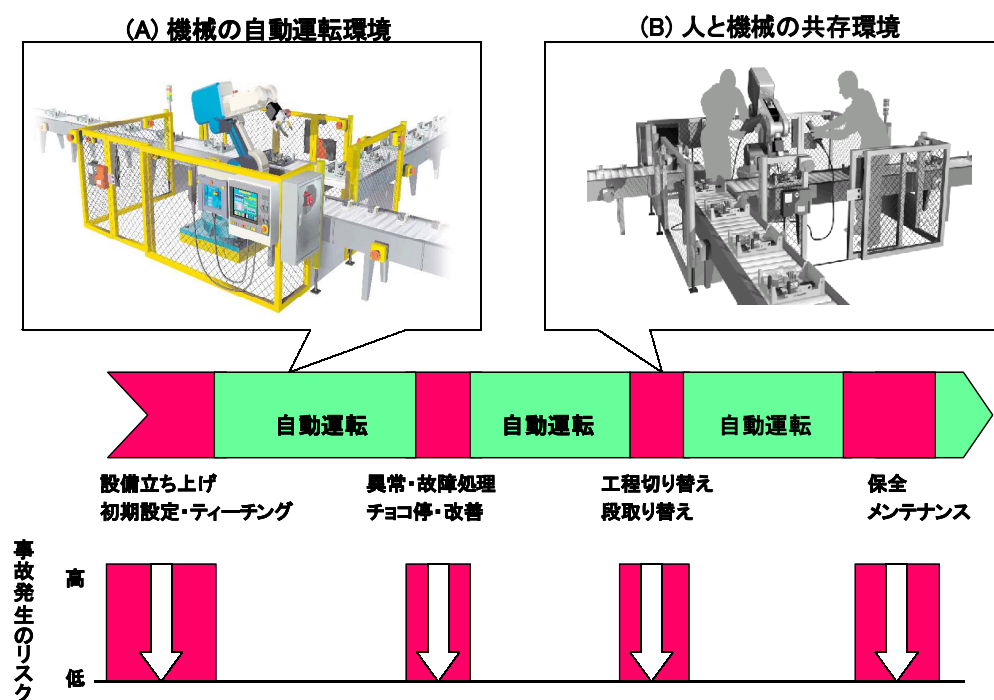
図２　機械の使用フローにおける本質安全の重要性

Fig.2　Importance of inherent safety in machine

2.　本質安全の重要性

前述のようにFA現場では生産性のみならず現場作業者に対する機械の安全性を向上させることが労働災害を減少させる最優先事項となってきており，機械に対する本質安全が求められている。労働災害を防止するための機械類への安全性の配慮は，従来，機械の製造者に対するよりも，どちらかといえばその使用者である事業者に求められていた。しかし，国際安全規格の頂点に位置する基本安全規格（A規格）の ISO 12100 や ISO14121「機械類の安全性－リスクアセスメントの原則」では，安全性への配慮を機械類の設計者や製造者の責任が事業者より優先させることを要求している。[1-8]　すなわち，図１に示すように，その機械の規定した限界および意図する使用に基づくリスクアセスメントを行い，その後に設計者ならびに製造者により講じられる防護方策を実施することが要求され、その中でも特に本質安全設計の重要性が述べられている。そして，製造者で回避できない残留リスクについては，使用者に組織面，追加安全防護物，保護具，訓練などの防護方策を適切に行えるようにその情報を明らかにすることが要求されている。

3.　機械の運転状態における事故発生リスクの低減化

3．1　事故発生のリスク

図２にロボットを用いた生産システムを例として、機械の運転状態におけるフローと事故発生の可能性について示す。機械の安全性の観点から，(A)に示す自動運転等の定常作業時は人が介在しないため労働災害が起きる可能性は一般的には低いが，(B)に示すような人が直接機械に接する非定常作業時に労働災害の発生する可能性が大きい。すなわち，どのような機械でも設備の立ち上げ（初期設定，ティーチング），異常・故障処理（チョコ停・改善），工程切り替え（段取り替え），あるいは修理や保全（メンテナンス）など数多くの人が介在する非定常作業が必ず発生する。図２に示すように，非定常作業時に危険区域で行なわれる作業，例えば，機械を稼動しながら試運転やメンテナンスする場合に事故発生の確率は飛躍的に増大する。特に、複数の作業者が同時に作業を行う場合には，他人の作業により危険が生じることも非常に多い。すなわち，機械の本質安全を構築するには，図の下段の矢印で示すように非定常作業時におけるリスクを低減させることが極めて重要である。

3．2　事故発生リスクの低減化

このように機械運転のフローの中でリスクを洗い出し，本質安全を構築する手法は，前述のISO12100やISO14121により要求されている。さらに電気的制御に関する具体的な方策については，グループ安全規格（B規格）の IEC60204-1「機械類の安全性－機械類の電気装置－第１部：一般要求事項」に規定されている。

国際安全規格において安全とは「受け入れ不可能なリスクがないこと(Freedom from unacceptable risk)」であり，別の言い方をすれば，図１の残留リスク(Residual risk)が存在しても，広く受け入れ可能なリスク(Acceptable risk)であれば，「安全(Safety)」として認めるということである。なお，リスクとは「傷害および健康障害の発生確率とそのひどさの組み合わせ」のことである。[7-9]

機械運転における非定常作業時のリスクを低減する具体的な方策として，IEC60204-1 ではイネーブル装置を使用することの必要性が述べられており，本質安全を構築

(a)　両手持ちペンダント使用例

(b)　片手持ち小型ペンダント使用例　　(c)　グリップスイッチ使用

図３　３ポジションスイッチを搭載したイネーブル装置(※印は 3-ポジションイネーブルスイッチを示す)
Fig.3　Examples of enabling devices provided with 3-position switch

するために有効な手段である。イネーブル装置とは，前述のような機械の非定常動作時において作業者が意志を持って機械の動作を許可する場合に使用される装置であり、図２(B)に使用の様子を示している。[9-19] 図３に具体的なイネーブル装置の例として(a)両手持ちペンダント、(b)片手持ちペンダント、それと(c)グリップスイッチを示す。これらイネーブル装置には，３ポジションスイッチを設け，作業者がこれを軽く握り込んだときにのみ機械の動作を許可し，機械の初期設定，ティーチングあるいは故障処理などの安全な作業が可能となる。さらに非定常作業時に予想される人間工学的な側面からのリスク，例えば作業者が機械の意図せぬ動作にパニックに陥って驚いて手を離す場合と，驚いて強く手を握り込む場合を考慮している。すなわち，驚いて手を離す，あるいは強く握り込むといういずれの場合も機械はその場で停止し，３ポジションスイッチにより危険を回避できる。[9-19]

このようなイネーブル装置に対する要件は，IEC60204-1 に規定されているだけでなく，米国規格 ANSI/RIA R15.06「産業用ロボットーロボットシステムのための安全に関する要求事項」においてもその必要性が述べられており、半導体製造装置の業界規格 SEMI S2-0200「半導体製造装置の環境，健康，安全に関するガイドライン」も ANSI/RIA R15.06 に準拠している。

図２に示した機械使用のフローは，日米欧など世界のどの地域においても日常的かつ普遍的に起こることであり、機械の本質安全の構築には，ここで示したイネーブル装置の利用など人間工学的な側面にも配慮することが必要になる。[19]

4.　機械の本質安全の構築

以上，機械運転のフローにおいて特に非定常作業時における本質安全の構築を一例としてあげたが，人と機械が共存する HMI(Human Machine Interface)環境すべてにおいて本質安全の構築は重要な要件となっている。ISO 12100 では対象とする機械の概念が図４と同様の関係で示されており，人と機械の共存する環境には機械の制御システムと機械の運転部があり，ここには様々な安全技術が用いられている。

HMI 環境における安全を実現するための一例としてイネーブル装置を取り上げ説明したが、その他にも図４に示されるような保護装置、手動制御器（アクチュエータ)、制御装置、信号表示など、直接人に関わる安全技術は、HMI Safety として考えることが重要である。[8] ISO12100-2 の 3.6 項においても，「人間工学原則の遵守」が規定されているように，図２に示した本質安全の実現に向けてさらに進化させていく必要がある。
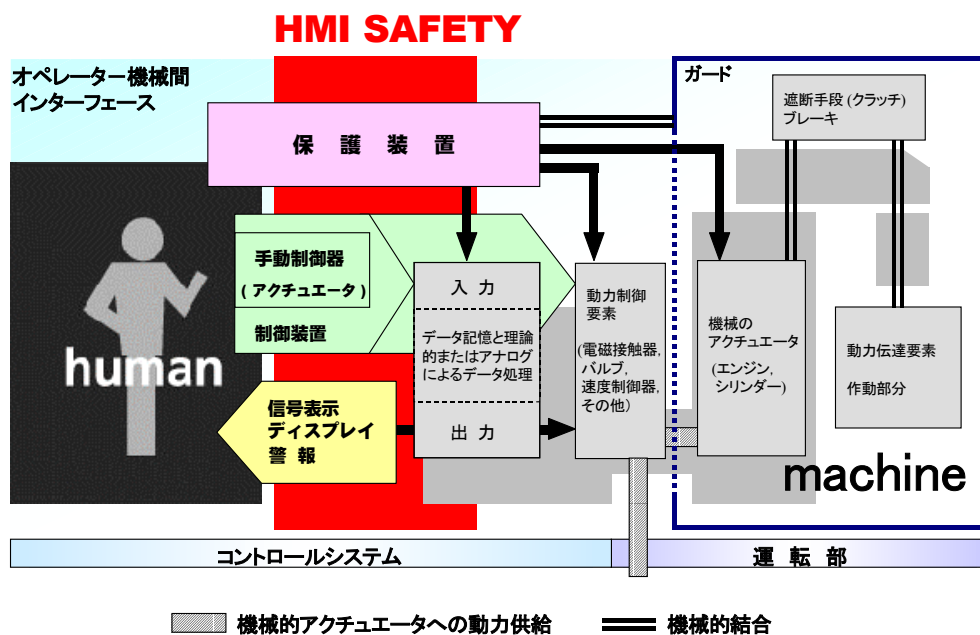
図４　機械類の安全性の概念図

Fig.4　Schematic representation for safety of machinery

5.　おわりに

本稿では，人と機械が共存する環境での本質安全の構築の考え方について，機械運転における非定常作業を例として示した。本質安全は種々の制御装置により構築され，その基本的な考え方は，国際安全規格の ISO12100 をはじめとし，わが国の機械の包括的な安全基準に関する指針，あるいは米国の ANSI/RIA R15.06 や半導体製造装置の業界規格 SEMI S2-0200 により具体的な要求事項として規定されている。今後とも機械の本質安全を構築し、安全な人と機械の最適なHMI環境の構築に努力していく所存である。

参考文献

[1] ISO/CD12100-1, -2: 1998, Safety of machinery - Basic concepts, general principles for design

[2] ISO14121: 1998, Safety of machinery – Principles of risk assessment

[3] 向殿: 国際化時代の機械システム安全技術，安全技術応用研究会，日刊工業新聞社（2000）

[4] 向殿: ISO 機械安全国際規格，(社）日本機械工業連合会，日刊工業新聞社（1999）

[5] 蓬原: 国際安全規格類の考え方及びその動向，日本信号技報 vol.22，No.3（1998）

[6] 厚生労働省労働基準局長: 機械の包括的な安全基準に関する指針，基発第 501 号(2001)

[7] 石田: 機械の包括的な安全基準に関する指針の概要と ISO12100 との関連性、IDEC REVIEW 2002，和泉電気株式会社, pp. 21-26 (2002)

[8] 石田　他: HMI 環境における国際安全規格の動向，IDEC REVIEW 2002，和泉電気株式会社, pp. 11-20 (2002)

[9] 福井　他: 操作における安全性を追求した３ポジションイネーブルスイッチの開発;計測自動制御学会ヒューマンインタフェース部会，第 14 回ヒューマンインタフェースシンポジウム論文集， pp. 659-664 (1998)

[10] 荻野　他: モバイル形操作表示器を用いた HMI 環境の最適化; 計測自動制御学会ヒューマンインターフェース部会，第 14 回ヒューマンインターフェースシンポジウム論文集，pp. 295-300 (1998)

[11] 米澤　他: モバイル形操作表示器によるロボットティーチングの操作性向上;計測自動制御学会システム/情報合同シンポジウム’98，論文集 pp.257-261 (1998)

[12] 中島　他: モバイル形表示器による FA 環境の安全に対する最適化; ヒューマンインタフェース学会，ヒューマンインタフェースシンポジウム’99， pp. 505-510 (1999)

[13] 宮内　他: 人間工学に基づく安全性に配慮した 3 ポジションイネーブルスイッチの開発とその応用, ヒューマンインタフェース学会，ヒューマンインタフェースシンポジウム 2000， pp. 383-386 (2000)

[14] 小野　他: 安全性向上を追求したペンダント形操作表示器の制御システムへの応用; ヒューマンインタフェース学会，ヒューマンインタフェースシンポジウム 2000 pp. 29-32 (2000)

[15] Y. Sekino, T. Fukui, N. Sugimoto, T. Fujita : Development and¥ application of 3-position enabling switches embodying operational safety based on ergonomics, 2nd International Conference Safety of Industrial Automated Systems, Bonn, Germany, 407-408 (2001)

[16] M. Mamiya, T. Nishiki, N. Sugimoto, T. Fujita: Development and application of pendant terminals for improved safety, 2nd International Conference Safety of Industrial Automated Systems, Bonn, Germany, 403-404 (2001)

[17] 延廣　他: 人間工学に配慮し国際安全規格に準拠した 3 ポジションイネーブルスイッチの開発とその応用，IDEC REVIEW 2002， pp. 47-56 (2002)

[18] 和泉電気編:安全コンセプトブック 2000 年版, 2002 年版

[19] A. Neudorfer: Konstruieren sicherheitsguerechter Produkte – Methoden und systematishe Losungssammlungen – Springer-Verlag (1997)